

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO E OS DESLOCAMENTOS DAS VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM DUAS ETAPAS DE CONCRETAGEM E COM DIFERENTES MATERIAIS

Tatiane de Souza Burato (1), Jorge Henrique Piva (2), Patrícia Montagna Allem (3)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) tati.burato@hotmail.com, (2) jhpiva@gmail.com, (3) patricia.allem@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho de conclusão de curso, foi avaliar os deslocamentos de vigas de concreto armado com duas etapas de concretagem e com diferentes materiais para reparos de patologias como a segregação. Para esta avaliação foram usadas vigas recuperadas com argamassa e graute e vigas isentas de falhas. Os três grupos de vigas com três unidades cada uma, foram ensaiadas a flexão em quatro pontos, aplicando uma determinada carga até a ruptura. Os resultados mostraram que as vigas recuperadas não apresentaram diferenças significativas para as cargas limites de deslocamento permitido por norma (L/250) NBR 6118: 2014 e cargas de ruptura já que a área recuperada estava na região tracionada, o concreto não contribui para resistência, devido à sua baixa resistência à tração. Dessa forma, como as vigas foram confeccionadas com a mesma armadura longitudinal, sendo o aço responsável por resistir aos esforços de tração, a capacidade portante dos três grupos de vigas apresentou a mesma resistência. Em relação ao deslocamento máximo atingido, os resultados mostraram um aumento em relação às vigas de referência, decorrente da fraca aderência entre o reparo e o concreto, não reconstituindo a seção original.

Palavras-Chave: Recuperação. Concreto. Graute. Argamassa.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é o segundo produto mais consumido no mundo. Projeções otimistas presumem que o material possa ocupar o primeiro lugar a partir de 2025, superando a geração de água potável (SANTOS, 2013).

O objetivo do preparo do concreto estrutural é obter um material predominantemente sólido com grande resistência e com poucos espaços vazios. É obtido pela adequada hidratação do cimento, de modo que a pasta resultante possa envolver e aderir satisfatoriamente os sólidos presentes (CARVALHO; FILHO, 2015, p. 30).

Para utilização estrutural, o concreto sozinho não é adequado como elemento resistente, pois, enquanto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração, embora esse tipo de solicitação quase sempre esteja presente nas estruturas das construções usuais (CARVALHO; FILHO, 2015, p. 19).

Para aumentar a resistência da viga é importante associar o concreto a um material que tenha boa resistência à tração e seja mais deformável, sendo mais comum o aço, que deve então ser colocado longitudinalmente na região tracionada da peça (CARVALHO; FILHO, 2015, p. 20).

Aderência é o fenômeno que permite o funcionamento do concreto armado como material estrutural. Sem aderência, as barras da armadura não seriam submetidas aos esforços de tração, pois deslizariam dentro da massa de concreto e a estrutura se comportaria como sendo apenas de concreto simples (CARVALHO; FILHO, 2015, p. 228).

Durante a aplicação do concreto, um dos problemas que podem ocorrer é a segregação dos constituintes da mistura. A segregação é definida como a separação dos componentes de uma mistura de concreto fresco de tal forma que sua distribuição deixe de ser uniforme. A segregação, consiste na separação dos agregados da argamassa (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p.370).

Mais do que um problema estético, os vazios ou nichos de concretagem, popularmente conhecidos como bicheiras, podem afetar a durabilidade e resistência das estruturas de concreto, que poderão sofrer deformações ou até mesmo entrar em colapso (FIGUEROLA, Techne, 2016). Falhas de concretagem, não reparadas devidamente, ou simplesmente ignoradas, podem acarretar sérias consequências, principalmente em regiões agressivas e de difícil acesso à inspeção (ANDRADE; SILVA, 2005, p. 966).

Em relação ao lançamento do concreto alguns cuidados devem ser seguidos, a NBR 14931:2004 (2004, p. 20) estabelece que o concreto deve ser lançado com técnica que elimine ou reduza significativamente a segregação entre seus componentes, observando-se maiores cuidados quanto maiores forem a altura de lançamento e a densidade de armadura. Segundo a NBR 6118: 2014 (2014, p. 144) O arranjo das armaduras deve atender não só à sua função estrutural, como também às condições adequadas de execução, particularmente com relação ao lançamento e ao adensamento do concreto. Os espaços devem ser projetados para a introdução do

vibrador e de modo a impedir a segregação dos agregados e a ocorrência de vazios no interior do elemento estrutural.

Os problemas patológicos, salvo raras exceções, apresentam manifestações externas características, a partir das quais se pode deduzir qual a natureza, a origem e os mecanismos dos fenômenos envolvidos, bem como se podem estimar suas prováveis consequências (HELENE, 2002, p.19). A escolha dos materiais e da técnica de correção a ser empregada depende do diagnóstico do problema, das características da região a ser corrigida e das exigências de funcionamento do elemento que vai ser objeto de correção (HELENE, 2002, p.26).

Como em qualquer serviço de recuperação, deve-se, eliminar todos os pontos fracos da superfície a ser reparada antes da aplicação do novo material, isento de poeira, óleo e graxa e tudo o mais que possa interferir entre o novo material e a superfície existente (SOUZA; RIPPER, 2001, p.130).

As argamassas e os grautes têm forte emprego como materiais de reparo nas estruturas e obras de concreto. Também é frequente seu emprego na área de obras industriais, onde as condições de aplicação dos materiais exigem maior desempenho mecânico e durabilidade (BAUER, 2005, p. 1494).

A argamassa é uma mistura de areia, cimento e água, é como um concreto sem agregado graúdo. Graute é uma mistura de material cimentício e agregado, usualmente agregado miúdo, na qual água suficiente é adicionada para produzir uma consistência fluida sem segregação dos constituintes (MEHTA; MONTEIRO, 2008, p.12).

Reparos com argamassa é uma técnica que pode ser utilizada para danos superficiais de qualquer tamanho em área, mas para pequenas profundidades, no máximo 5 centímetros (SOUZA; RIPPER, 2001, p.130). Para os reparos de maior profundidade a utilização do grout é mais indicada, em função das suas propriedades de fluidez, alta resistência e baixa retração. (SOUZA; RIPPER, 2001, p.142).

1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo, avaliar os deslocamentos de vigas de concreto armado com duas etapas de concretagem e com diferentes materiais para reparos de patologias como a segregação. Os produtos escolhidos para o reparo

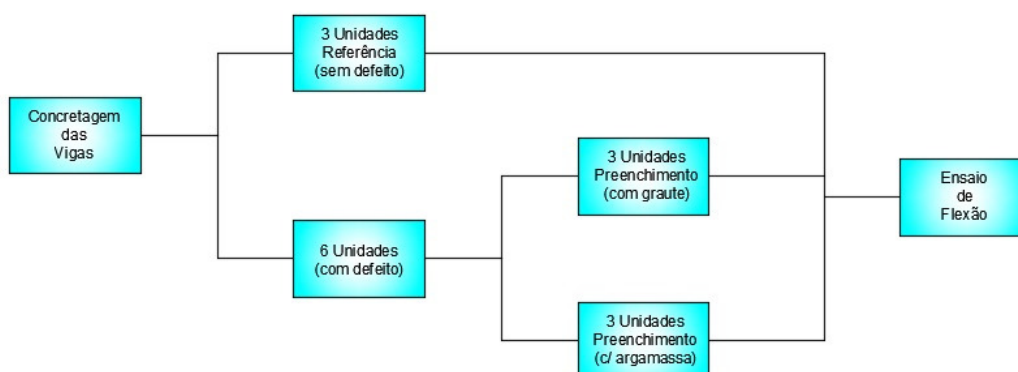
foram, o graute e argamassa industrializada, por serem os mais comumente empregados.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

No trabalho foram confeccionadas nove vigas de concreto armado, para ensaio de flexão em quatro pontos. Sendo três unidades de referência sem defeito, nomeadas de VR1, VR2 e VR3, e seis unidades com defeito, nomeadas de VA1, VA2, VA3, VG1, VG2 e VG3. Dessa seis unidades, três foram reparadas com graute e as outras três com argamassa.

No fluxograma da Figura 1, está demonstrado o procedimento definido para o trabalho.

Figura 1 - Fluxograma do Procedimento



Fonte: Autor (2017).

2.1 MATERIAIS

Para confecção das vigas foi utilizado concreto usinado, com resistência característica de 40 MPa.

O grout utilizado para reparação, foi preparado conforme orientações do fabricante contidas na embalagem do produto. A especificação do material indicou uma resistência à compressão de 50 MPa.

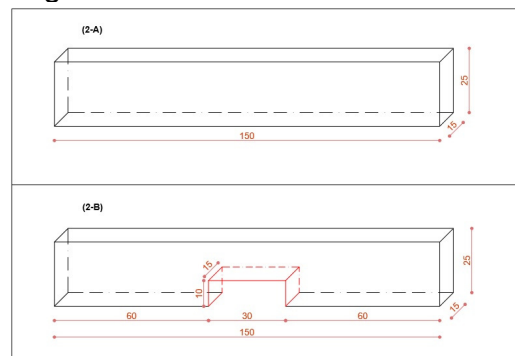
A argamassa utilizada, foi preparada conforme dados fornecidos pelo fabricante e para que atenda os requisitos de resistência à compressão segundo a NBR 13281: 2005 (2005, p. 3) classificada entre 1,5 a 3,0 MPa.

2.2 FABRICAÇÃO DAS VIGAS

Todas as nove vigas foram feitas com seção transversal de 15 x 25 cm e 150 cm de comprimento. Para simular uma falha de concretagem, as vigas foram confeccionadas com um espaço vazio (oco) na parte inferior localizado no meio da viga, com seção transversal de 15 x 10 cm e 30 cm de comprimento, onde posteriormente foram preenchidas com os materiais de reparo.

Na Figura 2, podemos observar as dimensões para a concepção: em (2-A) perspectiva da viga de referência; em (2-B) perspectiva da viga com um espaço vazio (oco).

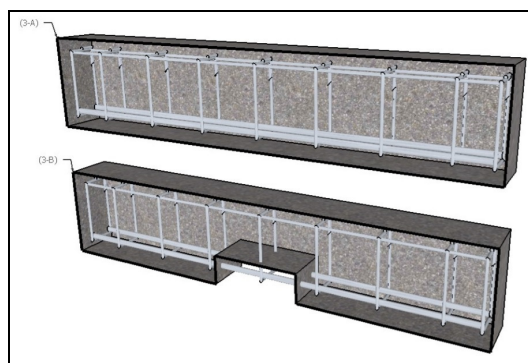
Figura 2: Perspectiva da viga



Fonte: Autor (2017).

Na Figura 3, temos um modelo 3D para a concepção das vigas: em (3-A) viga de referência; (3-B) viga com um espaço vazio (oco).

Figura 3: Modelo 3D

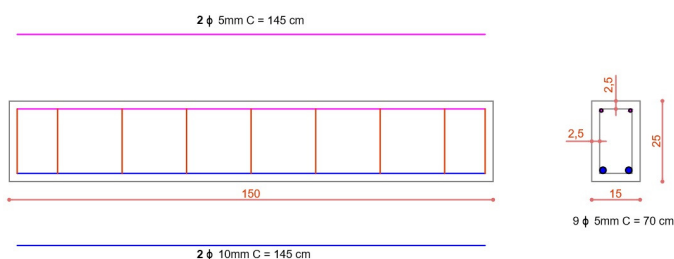


Fonte: Autor (2017).

2.3 DETALHAMENTO DA ARMADURA

Para o dimensionamento da armadura de flexão foram seguidos os critérios exigidos pela NBR 6118:2014, considerando a resistência característica do concreto de 40 MPa e aço CA-50. Adotou-se duas barras com 10 mm de diâmetro, resultando numa área de aço de 1,6 cm², e como porta estribo, duas barras de 5,0 mm de diâmetro. Os estribos com 5,0 mm de diâmetro foram posicionados com um espaçamento de 20 cm. Em todas as vigas foram utilizados espaçadores de plástico de 25 mm, obedecendo o cobrimento da armadura para garantir a durabilidade da estrutura. A Figura 4 mostra o detalhamento e a armadura adotada.

Figura 4: Detalhamento e armadura adotada

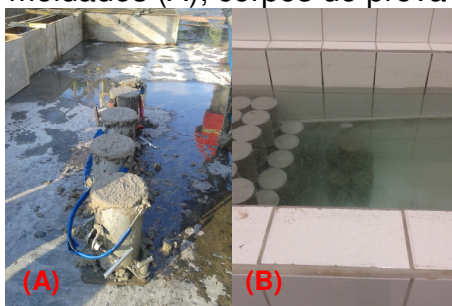


Fonte: Autor (2017).

2.4 CONCRETAGEM DAS VIGAS

No dia da concretagem foi feito o ensaio de abatimento tronco cone (Slump Test), segundo a NBR NM 67 (ABNT, 1998), que resultou um slump de 100 mm. Na sequência, foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões 10 x 20 cm, segundo a NBR 5738 (ABNT, 2008). Após vinte quatro horas foram desmoldados os corpos de prova cilíndricos e colocados em um tanque para cura por imersão em água durante 28 dias. Passados os 28 dias esses corpos de prova cilíndricos foram ensaiados segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), para determinação da resistência à compressão axial através do rompimento, para determinar as propriedades mecânicas no estado endurecido. Na figura 5, apresenta em (A) os corpos de prova cilíndrico e em (B) os corpos de prova dentro do tanque para cura.

Figura 5: Corpos de prova moldados (A); corpos de prova no tanque (B).



Fonte: Autor (2017).

Figura 6: Armaduras posicionadas com espaçadores nas formas (A); vigas concretadas (B).

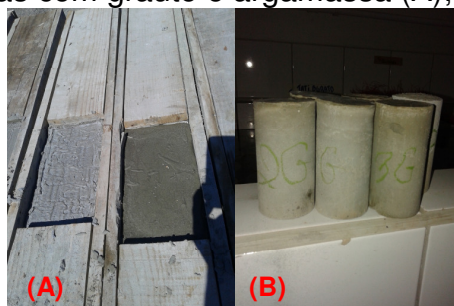


Fonte: Autor (2017).

Após 28 dias das vigas concretadas, as vigas teste foram preenchidas com os materiais de reparo no local pré definido anteriormente.

Todo procedimento foi realizado no (LMCC) Laboratório de Materiais de Construção Civil. Para o preenchimento do compartimento com graute, foi utilizado uma embalagem de graute e misturado com água conforme especificação do fornecedor. Também para o reparo com argamassa, foi utilizado uma embalagem de argamassa e acrescentado água conforme especificação do fornecedor. Para controle da resistência foram moldados corpos de prova cilíndricos com dimensões 5 x 10 cm da argamassa e do graute, posteriormente usados na determinação da resistência à compressão conforme a NBR 7215 (ABNT, 1995). Na figura 7 em (A) vigas preenchidas com graute e argamassa e em (B) corpos de prova.

Figura 7: Vigas preenchidas com graute e argamassa (A); corpos de prova (B).

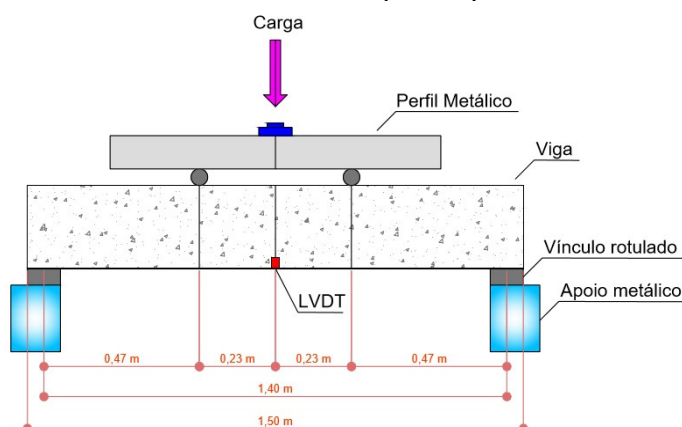


Fonte: Autor (2017).

2.5 ENSAIO DE FLEXÃO À QUATRO PONTOS

Os ensaios foram realizados no LEE - Laboratório Experimental de Estruturas, para o ensaio realizado, o equipamento utilizado consta de um pórtico metálico, composto de um cilindro hidráulico, com capacidade de 500 KN e uma célula de carga conectada na base. Para coletar os dados referentes aos deslocamentos foram utilizados dois transdutores de deslocamentos (LVDT), localizado em cada face lateral da viga. Os equipamentos foram conectados ao sistema de aquisição de dados Quantum X®, que utiliza o software Catman Easy®. Na Figura 8, encontra-se o detalhamento do ensaio de flexão à quatro pontos.

Figura 8: Detalhamento do ensaio de flexão à quatro pontos.



Fonte: Autor (2017).

As vigas ficaram ao ar livre até o dia do ensaio de flexão à quatro pontos realizados no LEE - Laboratório Experimental de Estruturas. Foram analisadas cargas obtidas no deslocamento máximo permitido por norma ($L/250$) e a carga e deslocamentos de ruptura. Na figura 9 apresento o ensaio de flexão à quatro pontos.

Figura 9: Ensaio de flexão

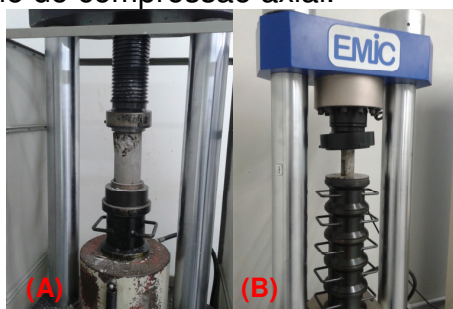


Fonte: Autor (2017).

2.6 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

O ensaio de compressão axial, foi realizado no (LMCC) Laboratório de Materiais de Construção Civil, no ensaio foi utilizada uma prensa hidráulica da marca EMIC modelo PC200CS, com capacidade máxima de 200 toneladas, junto a um computador com o software TESC - Teste Script, que fornece recursos para a leitura e obtenção de resultados, o ensaio seguiu as orientações da norma reguladora NBR 5739 (ABNT 2007). Na figura 10 apresento em (A) ensaio de compressão axial de corpo de prova cilíndrico 10 x 20 cm e em (B) ensaio de compressão axial de corpo de prova cilíndrico 5 x 10 cm.

Figura 10: (A) e (B) ensaio de compressão axial.



Fonte: Autor (2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL DOS CORPOS DE PROVA

Todos os resultados obtidos para a compressão axial dos corpos de prova cilíndrico aos 28 dias, estão indicados na tabela 1.

Tabela 1: Resistência à compressão.

Amostras	Resistência à Compressão (MPa)		
	Concreto	Graute	Argamassa
CP1	54,0	46,19	2,18
CP2	56,8	46,86	2,21
CP3	53,9	61,85	2,19
CP4	55,5		
CP5	55,5		
Média	55,14	51,63	2,19

Fonte: Autor (2017).

3.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO À QUATRO PONTOS

A tabela 2 mostra os resultados das cargas e deslocamento máximo L/250 permitido por norma NBR 6118 (ABNT, 2014) e cargas e deslocamento no momento da ruptura. Os resultados mostraram que as vigas recuperadas não apresentaram diferenças significativas para as cargas limites de deslocamento permitido por norma (L/250) NBR 6118: 2014 e cargas de ruptura já que a área recuperada estava na área de tração, e sabe-se que o concreto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração então já era esperado que a capacidade portante dos três grupos de vigas se comportasse a mesma resistência. Em relação ao deslocamento máximo atingido, os resultados mostraram um aumento em relação às vigas de referência, decorrente da fraca aderência entre o reparo e o concreto, não reconstituindo a seção original.

Tabela 2: Resumo de cargas e Deslocamentos

Vigas	Cargas para L/250 (kN)	Deslocamento para L/250 (mm)	Cargas na Ruptura (kN)	Deslocamento na Ruptura (mm)
VR1	77,43	5,60	81,84	5,43
VR2	68,89	5,60	76,95	4,20
VR3	79,50	5,60	83,46	8,88
Média	75,27	-	80,75	6,17
VG1	76,79	5,60	83,21	4,32
VG2	82,14	5,60	88,21	21,65
VG3	79,82	5,60	85,60	16,93
Média	79,58	-	85,67	14,30
VA1	79,30	5,60	82,40	10,52
VA2	82,09	5,60	86,94	12,81
VA3	80,18	5,60	81,23	6,33
Média	80,52	-	83,52	9,89

Fonte: Autor (2017).

Para comprovar a significância dos dados obtidos realizou-se uma análise de variância ANOVA com auxílio do Microsoft Excel. A análise foi realizada para um nível de significância de 95%, ou seja, um valor- $P \geq 0,05$, para valores maiores que este as amostras podem ser consideradas iguais com 95% de certeza, caso contrário são consideradas diferentes com a mesma precisão. O F crítico é outro valor que deve ser analisado, quando $F \geq F$ crítico são consideradas diferentes, caso contrário as amostras são iguais. Na tabela 3 foi compilado os valores adquiridos pelos resultados da análise de variância ANOVA.

Tabela 3: ANOVA PARA OS GRUPOS DE VIGAS

Parâmetros	Cargas (L/250)	Carga na Ruptura (kN)
p	0,256	0,210
F	1,725	2,044
F crítico	5,143	5,143

Fonte: Autor (2017).

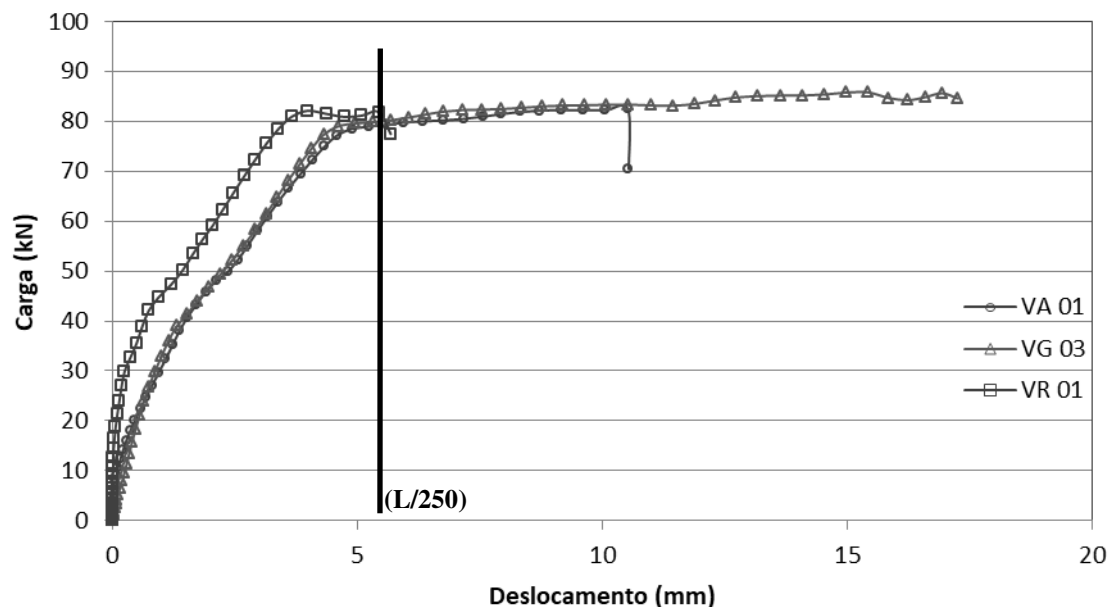
A análise dos testes de significância, indicaram que tanto para o valor-p e teste F , os resultados obtidos demonstram que os valores das cargas, mostram-se iguais quando comparadas os grupos de vigas entre si (referência, reparo com graute e com argamassa), com 95% de precisão. Isso significa dizer que estatisticamente as diferenças nos resultados entre os 03 grupos de vigas não são significativas. O que pode ser entendido é que para o carregamento no limite de deslocamento permitido por norma (L/250), o concreto não é solicitado à tração o que pode explicar os resultados semelhantes entre os grupos de vigas analisados.

Em relação ao deslocamento máximo apresentado, verificou-se que principalmente nas vigas recuperadas com graute, os valores encontrados foram cerca de 50 % superiores às vigas de referência, indicando um aumento da flexibilidade antes da ruptura. Considerando a posição da viga onde foi feito o reparo, que corresponde ao momento atuante máximo, a maior rigidez das vigas de referência deve-se a maior inércia da seção, já nas vigas com reparo pode-se concluir que o material não teve aderência suficiente ao concreto para tornar um corpo único rígido, dessa forma na região de preenchimento a seção ficou reduzida a altura original do concreto, implicando efetivamente numa resistência inercial menor.

3.3 GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE AS VIGAS REPRESENTATIVAS DE CADA GRUPO

Na figura 11, percebe-se como a viga de referência possui maior rigidez, para a mesma carga e o deslocamento é menor, o que está relacionado com o fato da viga de referência possuir a seção maior no meio do vão, comprovando que os reparos não se solidarizaram com o concreto da viga para formar um corpo único.

Figura 11: Gráfico comparativo entre as vigas representativas de cada grupo.



Fonte: Autor (2017).

4. CONCLUSÕES

Ao final do estudo, analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Os resultados mostraram que as vigas recuperadas não apresentaram diferenças significativas para as cargas limites de deslocamento permitido por norma ($L/250$) NBR 6118: 2014 e cargas de ruptura já que a área recuperada estava na área de tração, e sabe-se que o concreto tem uma boa resistência à compressão, pouco resiste à tração então já era esperado que a

capacidade portante dos três grupos de vigas se comportasse a mesma resistência;

- Em relação ao deslocamento máximo atingido, os resultados mostraram um aumento em relação às vigas de referência, decorrente da fraca aderência entre o reparo e o concreto, não reconstituindo a seção original;
- A análise de variância ANOVA com auxílio do Microsoft Excel mostrou que dos testes de significância, indicaram que tanto para o valor-p e teste F, os resultados obtidos demonstram que os valores das cargas, mostram-se iguais quando comparadas os grupos de vigas entre si (referência, reparo com graute e com argamassa), com 95% de precisão. Isso significa dizer que estatisticamente as diferenças nos resultados entre os 03 grupos de vigas não são significativas. O que pode ser entendido é que para o carregamento no limite de deslocamento permitido por norma ($L/250$), o concreto não é solicitado à tração o que pode explicar os resultados semelhantes entre os grupos de vigas analisados;
- Em relação ao deslocamento máximo apresentado, verificou-se que principalmente nas vigas recuperadas com graute, os valores encontrados foram cerca de 50 % superiores às vigas de referência, indicando um aumento da flexibilidade antes da ruptura. Considerando a posição da viga onde foi feito o reparo, que corresponde ao momento atuante máximo, a maior rigidez das vigas de referência deve-se a maior inércia da seção, já nas vigas com reparo pode-se concluir que o material não teve aderência suficiente ao concreto para tornar um corpo único rígido, dessa forma na região de preenchimento a seção ficou reduzida a altura original do concreto, implicando efetivamente numa resistência inercial menor.

5. RECOMENDAÇÕES

- Analisar reparos de concretagem em vigas de concreto armado na parte solicitada à compressão;
- Usar materiais para melhorar a aderência entre o concreto e o reparo.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13281: **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos — Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14931: **Execução de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: **Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 1998. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7215: **Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1995.

ANDRADE, T.; SILVA, A. J. C. Patologia das Estruturas. In: G.C. Isaia. (Ed.) **Concreto ensino, pesquisas e realizações**. Editora: IBRACON, São Paulo, v.2, 2005.

BAUER, E. Pastas, argamassas e grautes. In: G.C. Isaia. (Ed.) **Concreto ensino, pesquisas e realizações**. Editora: IBRACON, São Paulo, v.2, 2005.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado segundo a NBR 6118:2014**. São Carlos: EdUFSCar, 2015.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2ª ed., 6ª reimpressão(abr/02). São Paulo: Pini, 1992.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto. Microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo: IBRACON, 2008.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. **Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** 1ª ed., 3ª reimpressão (nov/2001). São Paulo: Pini, 1998.

FIGUEROLA, Valentina. **Vazios de Concretagem.** Techne 109, 2006.

SANTOS, Altair. **Pesquisa ressalta presente e futuro do concreto.** (2013). Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/pesquisa-ressalta-presente-e-futuro-do-concreto/>. Acesso em: julho 2017.